

**DETERMINACIÓN DEL DETERIORO DE LA VÍA QUE UNE LOS
MUNICIPIOS VILLET A – PUERTO SALGAR EN EL DEPARTAMENTO
CUNDINAMARCA, DURANTE SU VIDA ÚTIL**



Autor:
HERBERTH MAURICIO RODRIGUEZ ROMERO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

2018

DETERMINACIÓN DEL DETERIORO DE LA VÍA QUE UNE LOS MUNICIPIOS VILLETA – PUERTO SALGAR EN EL DEPARTAMENTO CUNDINAMARCA, DURANTE SU VIDA ÚTIL.

DETERMINATION OF THE DETERIORATION OF THE ROAD THAT UNITES THE MUNICIPALITIES VILLETA – PUERTO SALGAR IN THE CUNDINAMARCA DEPARTMENT, DURING ITS USEFUL LIFE.

Herberth Mauricio Rodríguez Romero.
Ingeniero Civil, Aspirante a especialista en pavimentos.
Estudiante de Posgrados de la Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá D.C., Colombia.
U6100289@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento del deterioro de la vía que conecta los municipios Villeta – Puerto Salgar en el Sector 1 de la Ruta del Sol en el departamento cundinamarca, durante su vida útil. Por lo anterior se realizó una evaluación funcional, siendo está la regularidad superficial de la vía que define la conformidad y seguridad del usuario que transita por ella. Es importante mencionar que el comportamiento del deterioro con respecto al tiempo, se establece los respectivos mantenimientos para mitigar tal avance y que la vía presente condiciones aceptables. Para esto se tuvo en cuenta 6 mediciones en cada uno de los siguientes parámetros: textura, resistencia al deslizamiento (fricción) e Índice de Regularidad Internacional (IRI), que fueron realizadas a partir del 2015 hasta la fecha y con estos datos se hizo un análisis estadístico identificando que los coeficientes de textura y fricción cumplieron con gran satisfacción, pero el IRI en ciertos sectores de la vía en estudio definió que el pavimento presenta problemas en su superficie de regularidad y a la vez se estableció que la calzada izquierda está en mejores condiciones que la calzada derecha, concluyendo que este coeficiente es de importancia a la hora de tomar la decisión de intervenir o realizar un mantenimiento preventivo mejorando las condiciones de la vía.

Palabras claves: Evaluación funcional; textura; fricción; índice de Regularidad Internacional.

RESUMEN

This investigation had as objective evaluate the behavior of the deterioration of the road that connects the municipalities Villeta – Puerto Salgar in The Sector 1 of the Sun Route in the Cundinamarca department, during it's useful life. Therefore was conducted a functional evaluation, being is the superficial regularity of the road which define the compliance and safety of the user which transit throught it. It is important to mention that the behavior of the deterioration with respect to time, it is established the respective maintenance to mitigate such progress and that the road present acceptable conditions. For this was had in account six measurements in each one of the following parameters: texture, resistance to slipping (friction) and International Roughness Index (IRI) that were made as of 2015 until the date and with these data was made a statistical analysis identifying that the coefficients of texture and friction fulfilled with great satisfaction, but the IRI in certain sectors of the road in study defined that the pavement presents problems in its surface of regularity and at the same time it was established that the left road is in better condition that the right road, concluding that this coefficient is of importance when making the decision to intervene or perform a preventive maintenance improving the conditions of the road.

Keywords: Functional evaluation; texture; friction; International Regularity index.

INTRODUCCIÓN

El transporte terrestre es de gran importancia para el progreso económico de un país como Colombia, dado que contribuye a expandir su riqueza cultural y productiva. Por tal razón las vías primarias, secundarias y terciarias deben estar en óptimas condiciones para el transporte de cargue y de cualquier usuario.

Entre los parámetros más importantes que se tienen en el momento del diseño de una vía, resaltan aspectos como la seguridad y el confort que representan la comodidad del usuario para la circulación del vehículo, mitigando o disminuyendo los accidentes del tránsito teniendo una vía en buen estado. Posterior al diseño y a la construcción para seguir garantizando estos parámetros, es necesario realizar mantenimientos preventivos y protocolarios, los cuales se definen mediante evaluaciones hechas a los pavimentos, donde se inspecciona principalmente sus condiciones actuales referente al estado de la superficie o estructuralmente de la vía, ya sea que presente Fisuramiento, grietas, ahuellamiento, fallas de los espesores etc. lo cual afecta las mediciones de evaluación.

Dicha evaluación puede ser de forma estructural o funcional. La estructural se encarga de estudiar la capacidad o aptitud del pavimento para soportar las cargas generadas por el tránsito, determinando la rigidez de cada capa, las deflexiones en ciertas zonas y ensayos indirectos para verificar la resistencia al concreto, que se realizan mediante mediciones de Transferencia de carga, geotécnicas y levantamiento de fallas [1,2]. La evaluación funcional se enfoca en la regularidad superficial del pavimento que está relacionado con la comodidad y la seguridad de los usuarios ante la vía a circular, por lo tanto son

indicadores que establecen el estado de la vía, lo cual se realiza mediante mediciones de Índice de Regularidad Internacional (IRI), resistencia al deslizamiento (Fricción) y rugosidad superficial (Textura) [2].

El IRI define la uniformidad de la superficie, mediante un modelo matemático que calcula el movimiento acumulado en la superficie del pavimento, cuando un vehículo con pasajeros recorre la vía a una velocidad de 80 Km/h [3]. En la fricción, se le considera la resistencia al deslizamiento de un neumático cuando frena y es un coeficiente utilizado en el diseño geométrico, por ser la principal propiedad relacionada con la seguridad de la vía para los usuarios. Cabe mencionar que esta variable se verá afectado por el coeficiente de rugosidad superficial (Textura) [4].

En esta investigación tiene como finalidad evaluar el estado funcional de la vía que conecta los municipios Villeta – Puerto Salgar del Departamento Cundinamarca referente al Sector 1 de la Ruta del Sol durante su vida útil, mediante datos recopilados a partir del 2015 hasta la fecha de los coeficientes IRI, Fricción y Textura, y así establecer una curva con respecto al tiempo, con el fin de determinar el comportamiento del deterioro, afectando la conformidad y la seguridad del usuario ante la vía a transitar.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para comprender el tema de Investigación, se definirán ciertos términos conceptuales o coeficientes expresados:

Índice de Regularidad Internacional (IRI):

El IRI fue propuesto por el Banco Mundial en 1986, con el objeto de tener un parámetro de referencia para identificar la calidad de la superficie de un pavimento y detectar el deterioro en ciertos sectores [5].

Este coeficiente se define como una medida de influencia de la uniformidad del perfil longitudinal de una vía, que representa la vibración de un vehículo típico de pasajeros como resultado de la falta de regularidad de la superficie de rodadura y está en unidades de mm/m, m/Km o in/mi. El IRI se calcula mediante un modelo matemático llamado Cuarto de Carro [5], en la Fig. 1 se ilustra el modelo mencionado.

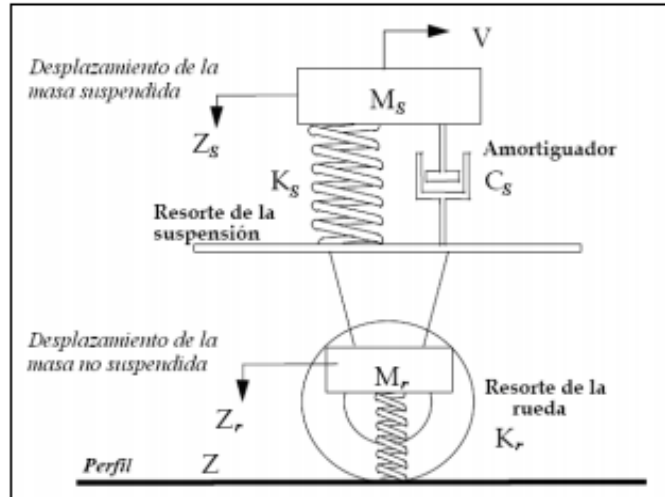


Fig. 1. Modelo de cuarto de carro.

Fuente: Determinación de la Regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del Índice Regularidad Internacional (IRI): aspectos y consideraciones importantes [6].

El modelo emplea los siguientes parámetros:

$$K_{.2} = \frac{K_s}{M_s} = 63.3 \quad K_{.1} = \frac{K_r}{M_s} = 653 \quad c = \frac{C_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15 \quad (1)$$

Dónde:

Ks: constante del resorte de la suspensión.

Kr: constante del resorte de la rueda.

Ms: masa suspendida.

Mr: masa no suspendida.

Cs: amortiguador.

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera [6].

El Banco Mundial propuso una escala para identificar el estado de la Regularidad superficial del pavimento, por lo tanto estableció que el rango de 0 a 12 m/Km es para vías pavimentadas y para vías no pavimentadas es de 12 a 20 m/Km [3]. Por lo anterior se concluye que si una vía presenta un IRI de 12 m/Km, la superficie del pavimento estará en condiciones no adecuadas para el tránsito vehicular, donde el usuario sentirá la no conformidad de está. En la Fig. 2 se ilustra la escala empleada por el Banco Mundial.

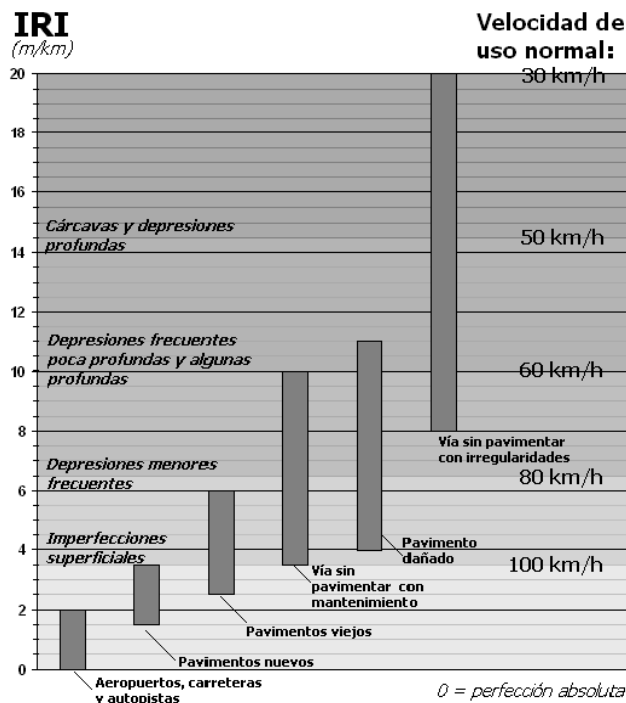


Fig. 2. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías.

Fuente: Determinación de la Regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del Índice Regularidad Internacional (IRI): aspectos y consideraciones importantes [6].

Para este coeficiente de medición se utilizó el equipo de Perfilómetro Láser RSP, que dispone de una viga extensible, cinco láseres de medida de 32 kHz, dos acelerómetros y un equipo de posicionamiento global (GPS).

Textura:

La textura se define como las irregularidades superficiales presentes en la calzada y se divide en dos grupos que son microtextura y macrotextura [7].

La microtextura es proporcionada por las pequeñas asperezas superficiales, afectando el nivel de fricción en el área de contacto entre neumático y pavimento. Desviación que presenta la superficie del pavimento respecto de una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal, inferiores a 0,5 mm [2-7].

La macrotextura es suministrada por las asperezas mayores y proporciona canales de escape para el agua superficial en la zona de contacto. Desviación que presenta la superficie del pavimento respecto de una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 0,5 mm y 50 mm [2-7].

En la Fig. 3 se apreciara la diferencia entre macrotextura y microtextura de una partícula y los intervalos de los valores de la textura en términos de la longitud de onda.

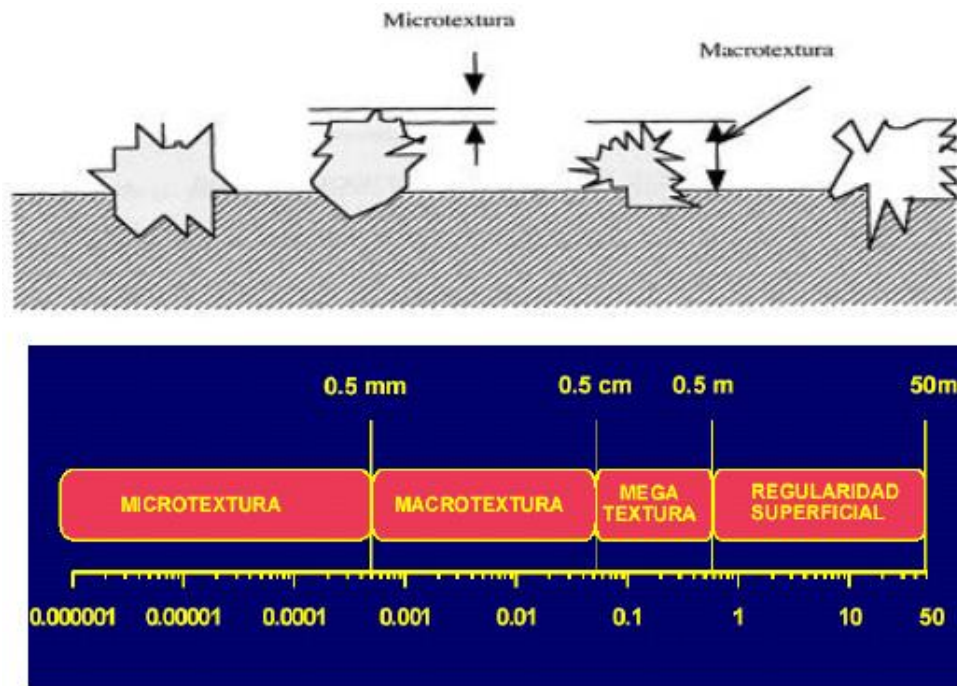


Fig. 3. Características de la microtextura y la macrotextura.

Fuente: Módulo 18 evaluación de pavimentos [2].

Para este coeficiente se utilizó el Texturometro Laser, que fue incorporado al Perfilómetro Láser.

Resistencia al deslizamiento (Fricción):

Este coeficiente también denominado fricción superficial, es la fuerza desarrollada en la interfaz de neumático y pavimento, que resiste el deslizamiento del neumático cuando se aplican los frenos al vehículo [2]. Esta es la principal propiedad del pavimento en lo que se refiere a seguridad, aparte de los factores relacionados con las condiciones geométricas de la vía.

Es importante resaltar que los factores que afectan la fricción superficial esta entre el tipo de pavimento, características de los agregados, humedad del pavimento, tipo de neumático, peso del vehículo, presencia de contaminantes, condición geométrica, el clima, nivel de precipitaciones y profundidad de la textura.

Para la medición de la fricción se realizó mediante el equipo Mu-Meter MK6 que es un pequeño equipo con tres ruedas con un sistema de medición electrónico, el cual opera en conjunto con una computadora.

1.1. Metodología.

Con los coeficientes definidos y entendibles, la metodología consiste en tres pasos: Analizar los datos de mediciones para establecer el estado actual de la vía, selección de tramos donde se pueda identificar las condiciones de deterioro superficial de la vía y establecer el comportamiento del deterioro de la misma a partir de la gráfica de coeficientes con respecto al tiempo.

- ✚ Analizar los datos de mediciones para establecer el estado actual de la vía.

La vía en estudio está localizada en el Departamento de Cundinamarca que une los Municipios Villeta – Puerto Salgar referente al Sector 1 de la Ruta del Sol con una longitud de 55 Km aproximadamente, presentando dos calzadas y siete retornos. En la Fig. 2. Se muestra la ubicación del mismo.

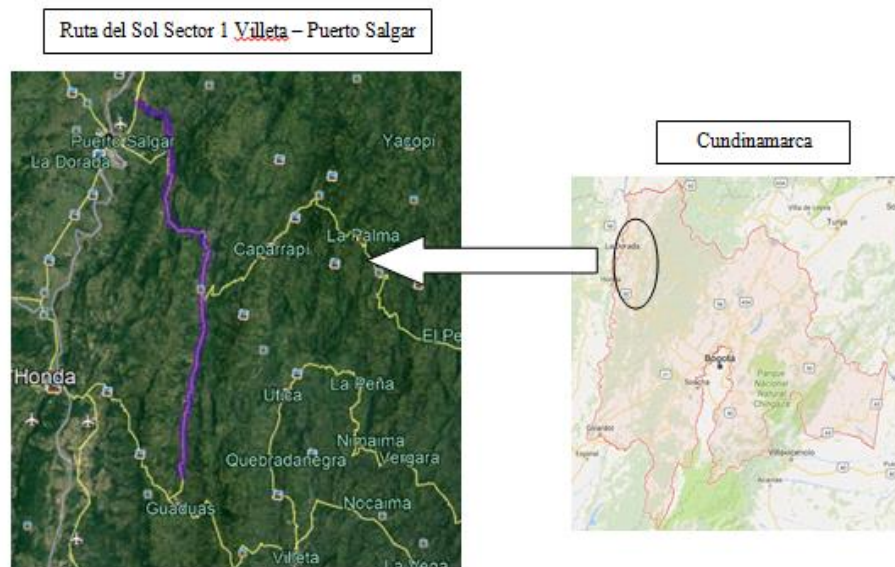


Fig. 4. Ubicación de la vía de estudio.

Fuente: Google Earth Pro Image 2017 Digital Globe

Esta carretera principal está pasando por fallas geológicas, en donde han generado problemas de inestabilidad y pérdidas de banca, por lo tanto se ha presentado interferencias, afectando las mediciones de índice de Regularidad Internacional (IRI), Fricción y Textura, por el paso de maquinaria pesada.

Los datos recopilados fueron suministrados por la empresa GEVIAL S.A.S., realizados a partir del año 2015 hasta la fecha, los días 01 de Enero de 2015, 01 de Octubre de 2015, 01 de Abril de 2016, 01 de Noviembre de 2016, 01 de Mayo de 2017 y 01 de Septiembre de 2017.

Para este paso se graficó los datos obtenidos con respecto a la longitud de la vía, estableciendo ciertos parámetros o rangos de aceptación por parte del Concesionario e INVIAS, por lo tanto se tiene que para el cumplimiento de los tres coeficientes son los siguientes: Para IRI es máximo 3.2, textura mínimo 0.4 y fricción mínimo 0.55. Por otra parte se realizó un análisis estadístico con los datos suministrados.

- ✚ Selección de tramos donde se pueda identificar las condiciones de deterioro superficial de la vía.

Para esta fase mediante las gráficas de los coeficientes (IRI, fricción y textura) con respecto a la longitud de la vía en estudio, se seleccionó los tramos donde se visualizó valores elevados y diferencias entre ellos, para identificar las condiciones de deterioro superficial.

- ✚ Establecer el comportamiento del deterioro de la misma a partir de la gráfica de coeficientes con respecto al tiempo.

Teniendo seleccionado los tramos según lo expuesto anteriormente, se realiza gráfica del avance del deterioro superficial de la vía en estudio con respecto al tiempo, por lo tanto se analizó el comportamiento típico de la calidad superficial del mismo y dar a entender que la vía que conecta los municipios Villeta – Puerto Salgar requiere de una programación de mantenimiento, con el fin de no dejar avanzar el deterioro, mitigar sobre costos y mantener una buena calidad de servicio ante los usuarios.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Analizando los datos comparativos de las mediciones realizadas, se observa que para la tabla 1, el coeficiente de textura está cumpliendo en las dos calzadas según el parámetro establecido que es mínimo de 0.40 mm, dentro de lo cual se obtuvo un valor máximo de 1.41 mm y un mínimo del 0.80 mm en la calzada derecha y para la izquierda el máximo fue de 1.37 mm con un mínimo del 0.78 mm, básicamente estos valores están dentro del rango de la macrotextura que es de 0.5 mm a 50 mm y es viable para la vía, ya que ayuda al manejo de escape de agua superficial en la zona de contacto evitando el fenómeno de hidropneumático en sí, es cuando un vehículo pierde el contacto con el pavimento ya que se genera una lámina de agua provocando el deslizamiento del mismo.

Tabla 1. Análisis Estadístico Textura mm.

Análisis de datos		CALZADA DERECHA						CALZADA IZQUIERDA					
		Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17	Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17
Máximo		1.18	1.08	1.13	1.11	1.15	1.41	1.18	1.02	1.05	1.03	1.29	1.37
Mínimo		0.92	0.80	0.85	0.80	0.81	0.99	0.90	0.81	0.78	0.83	0.85	1.03
Desviación Estándar		0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.06	0.05	0.06	0.04	0.09	0.07
Promedio		1.03	0.93	0.97	0.94	0.95	1.19	1.03	0.91	0.90	0.91	1.00	1.15
Coeficiente Variación		5.89	7.04	6.38	7.09	7.75	7.43	5.79	4.95	6.12	4.58	9.27	6.18
Cumple	SI	55.00	55.00	55.00	55.00	54.00	55.00	55.00	55.00	53.00	53.00	55.00	55.00
	NO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Parámetro de aceptación: Textura mínimo 0.40 mm													

Fuente: Elaboración propia.

Observando la Tabla 2 el coeficiente de resistencia al deslizamiento (fricción), está cumpliendo con el parámetro establecido que es mínimo de 0.55 μ , básicamente se tiene valores elevados como se visualiza en los datos máximos y mínimos en cada medición realizada tanto en la calzada derecha como la izquierda, por lo tanto aporta a la seguridad de los usuarios ante la vía en estudio a circular. Es importante resaltar que la fricción depende del coeficiente de textura ya que la fricción es una fuerza generada entre el neumático con el pavimento superficial.

Tabla 2. Análisis Estadístico Resistencia al deslizamiento (fricción) μ .

Análisis de datos		CALZADA DERECHA						CALZADA IZQUIERDA					
		Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17	Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17
Máximo		0.85	0.85	0.89	0.80	0.76	0.84	0.80	0.83	0.83	0.81	0.75	0.83
Mínimo		0.65	0.64	0.76	0.63	0.56	0.70	0.66	0.72	0.74	0.57	0.59	0.68
Desviación Estándar		0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03
Promedio		0.72	0.77	0.81	0.74	0.70	0.79	0.72	0.78	0.79	0.74	0.70	0.78
Coefficiente Variación		6.29	5.23	3.51	4.73	4.06	4.07	3.39	3.95	2.47	6.11	3.72	3.93
Cumple	SI	55.00	55.00	55.00	55.00	54.00	55.00	55.00	55.00	53.00	53.00	55.00	55.00
	NO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Parámetro de aceptación: Fricción mínimo 0.55													

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se ilustra las gráficas de los coeficientes de textura y resistencia al deslizamiento de las dos calzadas con respecto a la longitud analizada:

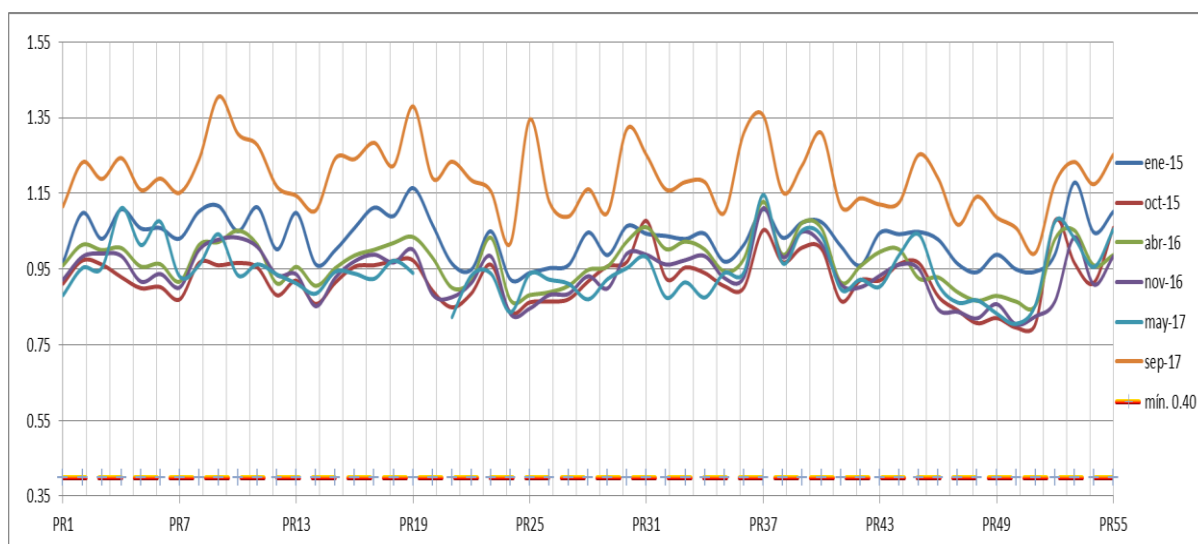


Fig. 5. Comparacion de valores promedio por pr - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 – textura (mm) - calzada derecha.

Fuente: Elaboración propia.

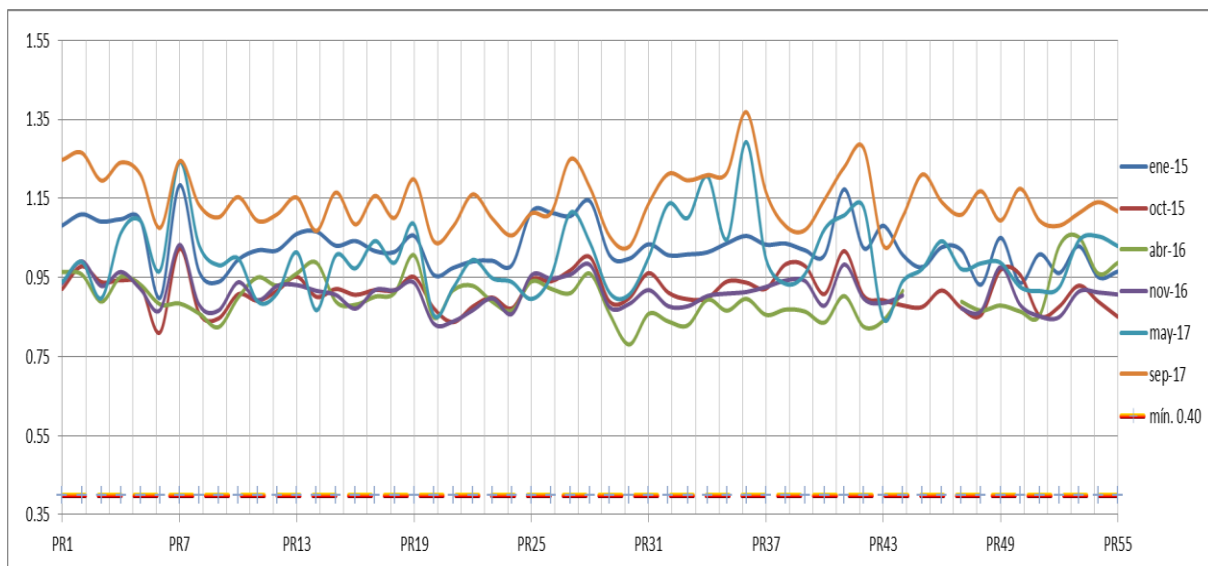


Fig. 6. Comparacion de valores promedio por pr - mediciones 1, 2 , 3, 4 , 5 y 6 – textura (mm) - calzada izquierda.
Fuente: Elaboración propia.

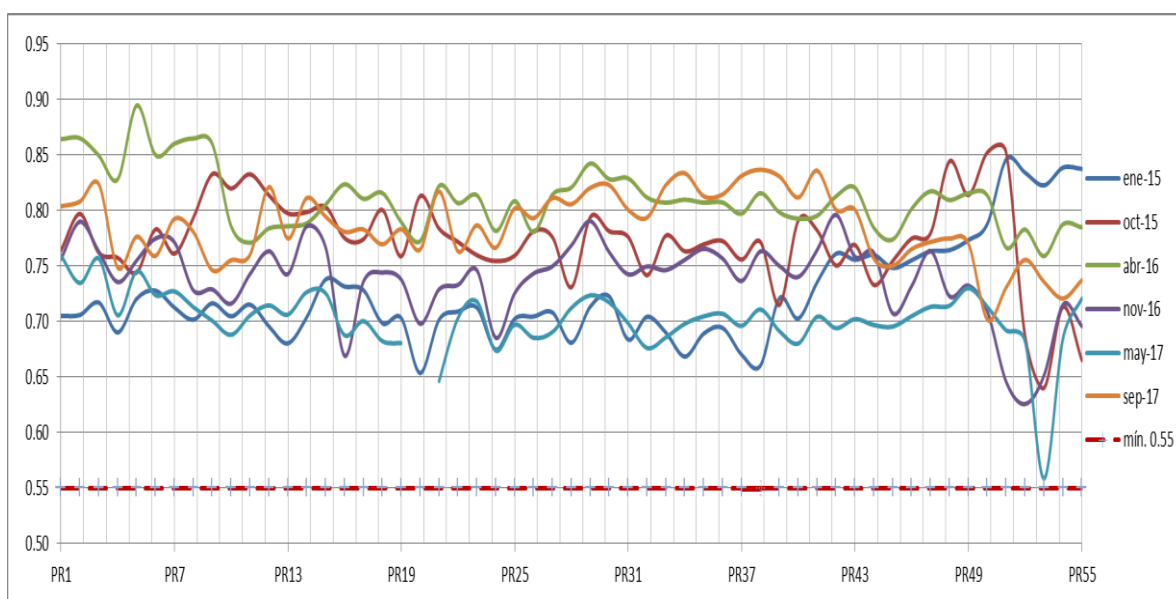


Fig. 7. Comparacion de valores promedio por pr - mediciones 1, 2 , 3, 4 , 5 y 6 – fricción transversal (μ) - calzada derecha.
Fuente: Elaboración propia.

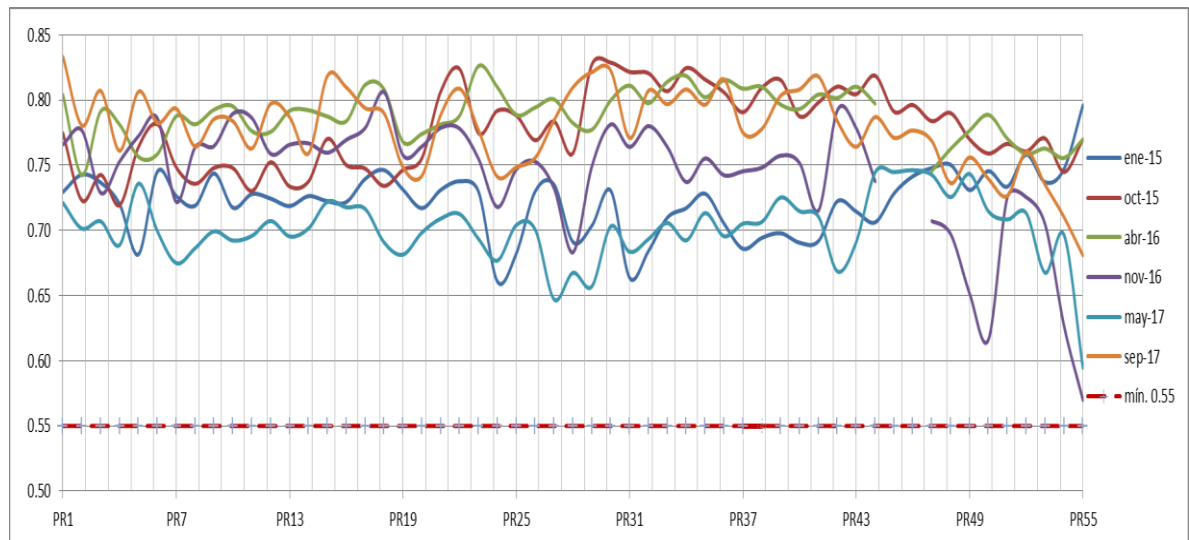


Fig. 8. Comparación de valores promedio por pr - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 – fricción transversal (μ) - calzada izquierda.

Fuente: Elaboración propia.

Con las gráficas correspondientes a los coeficientes de textura y resistencia al deslizamiento (fricción), se evidencia con mayor claridad el cumplimiento de estos y a la vez se detalla el comportamiento de las mediciones realizadas a partir del 2015 hasta la fecha en toda la longitud, notando la disminución de la textura entre la medición de enero de 2015 (línea azul oscuro) con la de octubre de 2015 (línea roja) en todo el sector durante el transcurso de su vida útil tanto la calzada derecha como la izquierda. Por otra parte se informa que en la vía se realizó mantenimientos, lo cual se visualiza en las gráficas ya que la medición de septiembre de 2017 (línea naranja) está por encima de los otros datos.

Es importante mencionar que en la Fig. 8 la medición de abril de 2016 (línea verde) y noviembre de 2016 (línea morada), no hay una conexión continua de los datos, ya que por interferencia en la vía no se realizó la actividad de evaluación funcional que está entre la abscisa K44+000 hasta la K46+000. Por otra parte se evidencia el valor mínimo de Fricción que es 0.57 μ calzada izquierda Tabla 2 de la medición del mes de Noviembre de 2016 en la Fig. 8.

Terminando de analizar los coeficientes anteriores que va más enfocado a la seguridad de la vía, se analiza el Índice de Regularidad Internacional (IRI), que está relacionado con el confort o comodidad del usuario que transita por la carretera que conecta los municipios Villeta – Puerto Salgar, por lo tanto en la tabla 3 se realizó el respectivo análisis estadístico de los datos obtenidos de las mediciones y que se muestra a continuación:

Tabla 3. Analisis Estadístico Índice de Regularidad Internacional (IRI) m/km.

Análisis de datos		CALZADA DERECHA						CALZADA IZQUIERDA					
		Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17	Ene-15	Oct-15	Abri-16	Novi-16	May-17	Sept-17
Máximo		4.21	5.57	4.52	6.52	5.32	3.66	4.63	4.28	4.08	6.25	4.05	3.47
Mínimo		2.05	2.49	2.58	3.19	2.50	2.55	2.24	2.38	2.46	2.83	2.24	2.36
Desviación Estándar		0.39	0.47	0.38	0.60	0.66	0.21	0.47	0.37	0.37	0.63	0.33	0.21
Promedio		2.89	3.17	3.32	4.43	3.40	3.03	2.89	3.19	3.14	4.44	2.85	2.86
Coeficiente Variación		13.37	14.80	11.52	13.65	19.53	6.88	16.26	11.66	11.80	14.27	11.55	7.30
Cumple	SI	45.00	31.00	22.00	1.00	28.00	45.00	43.00	27.00	29.00	1.00	48.00	53.00
	NO	10.00	24.00	33.00	54.00	26.00	10.00	12.00	28.00	24.00	52.00	7.00	2.00
Parámetro de aceptación: IRI máximo 3.2 m/km													

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis estadístico del índice de Regularidad Internacional, se identificó que ciertos sectores de las dos calzadas no están cumpliendo con el parámetro estandarizado que es máximo 3.2 m/km, identificando que en la calzada derecha presento un valor máximo de 6.52 m/km con un valor mínimo de 3.19 m/km del mes de Noviembre 2016 y se obtuvo un promedio de 4.43 m/km, por lo tanto esta por fuera de lo permitido. También se presentó en la calzada izquierda la misma situación, con un valor máximo de 6.25 m/km y un valor mínimo de 2.46 m/km correspondiente a la medición de Noviembre del 2016 y un promedio de 4.44 m/km, claro está que para la calzada izquierda se tuvo 53 datos mientras que la calzada derecha son 55 datos, por consecuencia de interferencias en la vía. Estos datos faltantes de la calzada izquierda fueron desde la abscisa K44+000 hasta la K46+000, este caso también paso en la medición de abril de 2016.

Al hacer el análisis se debe contemplar lo anterior, ya que es información que afecta al definir el estado de la vía y los promedios de cada medición, por lo tanto se identificó que al observar los resultados de ambas calzadas evaluadas se refleja un mejor comportamiento de este coeficiente en la calzada izquierda que en la derecha, a continuación mediante la Fig. 9 y la Fig. 10 se detalla lo anterior expresado:

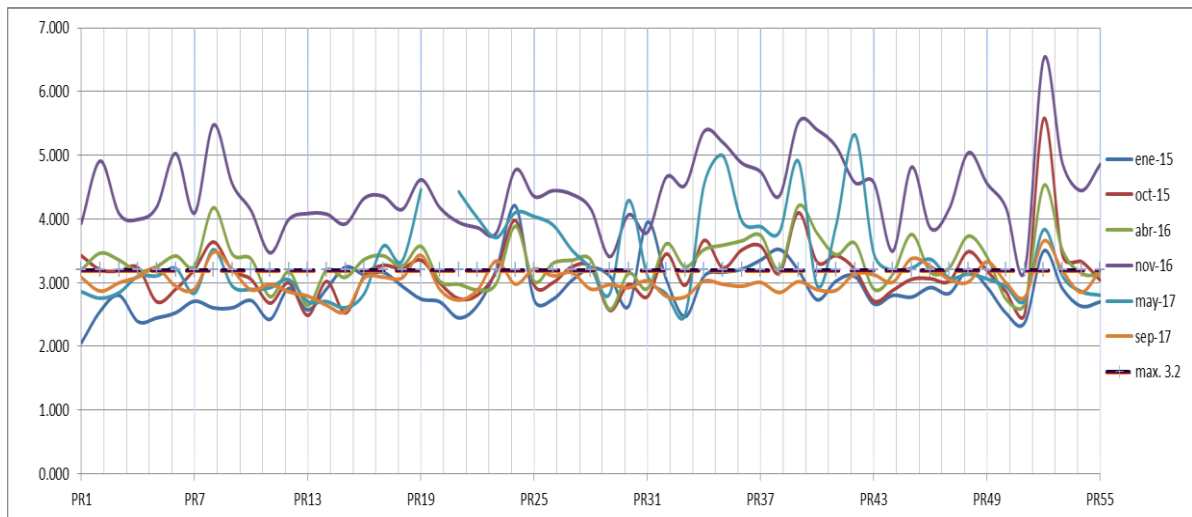


Fig. 9. Comparacion de valores promedio por pr - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 – IRI (m/Km) - calzada derecha.

Fuente: Elaboración propia.

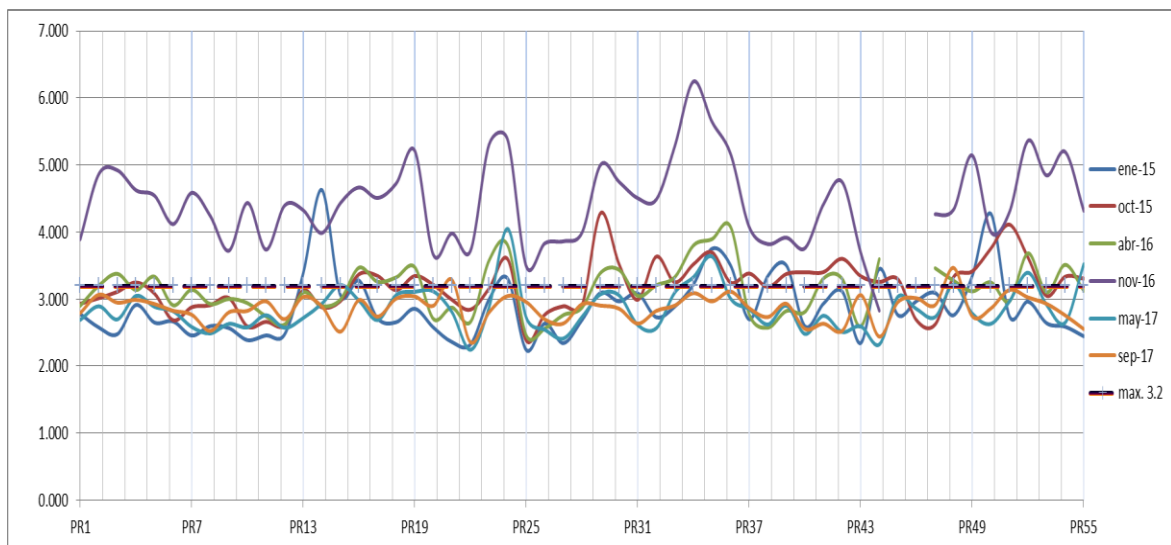


Fig. 10. Comparacion de valores promedio por pr - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 – IRI (m/Km) - calzada izquierda.

Fuente: Elaboración propia.

Con las gráficas correspondientes al Índice de Regularidad Internacional, se destaca que la vía en estudio se realizó intervenciones de mantenimiento ya que las mediciones del mes de noviembre de 2016 (línea morada) son elevadas comparadas con los datos del mes de mayo de 2017 (línea azul marino) y también se puede identificar en la tabla 3 con el promedio, porque para el mes de noviembre de 2016 se obtuvo un valor promedio de 4.44 m/km y para el mes de mayo de 2017 se obtuvo un valor promedio de 2.85 m/km, se recuerda nuevamente que si se tiene valores de IRI elevados, son representaciones de que la vía presente deterioro superficial, ya sea por agrietamiento por fatiga, agrietamiento térmico y ahuellamiento.

Analizado el estado actual de la vía, como se ha expresado con anterioridad los coeficientes de textura y resistencia al deslizamiento cumplen satisfactoriamente, pero el IRI presentó la no uniformidad del perfil longitudinal,

es decir irregularidades en la superficie del pavimento, por esta razón se seleccionó ciertos tramos donde se evidencie la variación de los valores de IRI y así poder analizar el comportamiento del deterioro con respecto al tiempo, a continuación se ilustrara lo anterior expuesto:

K7+000 - K8+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	2.605
oct-15	3.639
abr-16	4.177
nov-16	5.476
may-17	3.519
sep-17	3.480

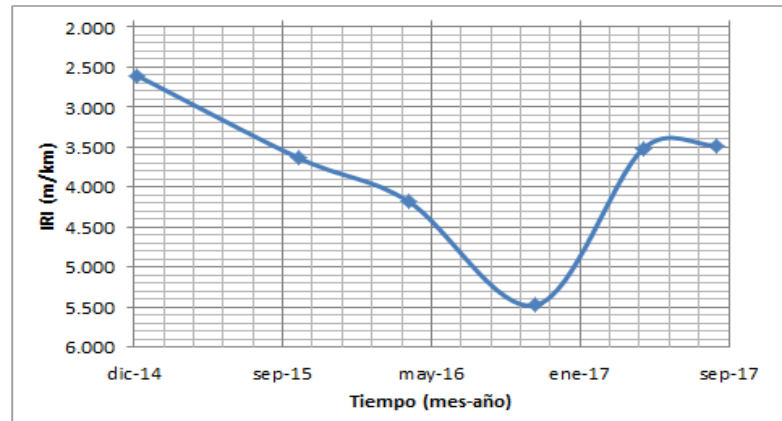


Fig. 11. Tramo K7+000/K8+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada derecha.
Fuente: Elaboración propia.

K18+000 - K19+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	2.745
oct-15	3.355
abr-16	3.571
nov-16	4.615
may-17	4.460
sep-17	3.430

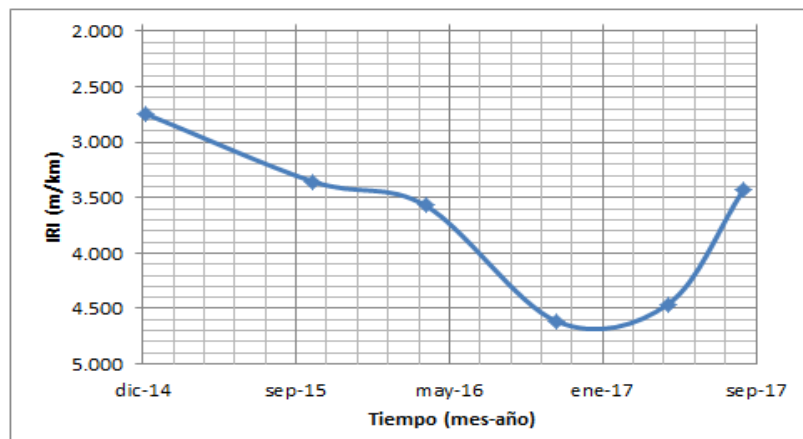


Fig. 12. Tramo K18+000/K19+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada derecha.
Fuente: Elaboración propia.

K44+000 - K45+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	2.774
oct-15	3.054
abr-16	3.758
nov-16	4.812
may-17	3.228
sep-17	3.378

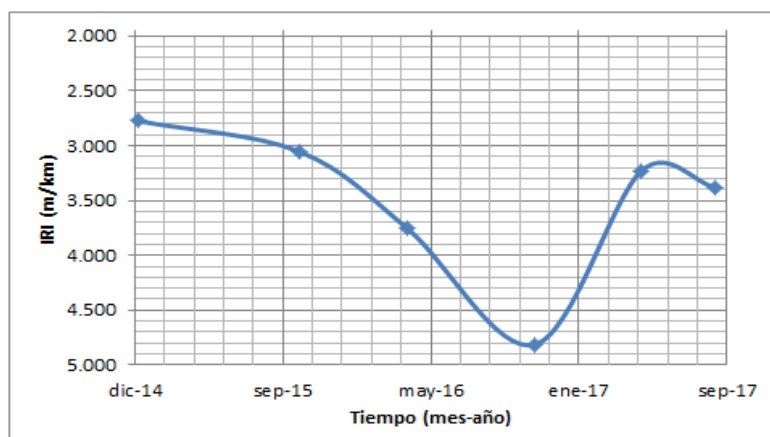


Fig. 13. Tramo K44+000/K45+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada derecha.
Fuente: Elaboración propia.

Observando las gráficas de IRI con respecto al tiempo de la calzada derecha, se detalla el comportamiento del deterioro de la calidad superficial, dentro de lo cual se evidencia que la disminución no es lineal ya que hay factores que determinan el avance del deterioro. Tales factores son el tránsito, el clima, fallas geológicas e intervenciones en la vía por pérdidas de banca. Es evidente que el comportamiento del avance del deterioro respecto al tiempo se resalte con gran diferencia, en la Fig. 11 vemos como en dos años aproximadamente la calidad de la regularidad superficial se haya deteriorado tan rápidamente, ya que en el mes de enero de 2015 se obtuvo un valor de 2.605 m/km y para el mes de noviembre de 2016 se obtuvo un valor de 5.476 m/km, lo mismo se visualiza para la Fig. 12 y la Fig. 13 que son sectores diferentes. Tal descendencia es debida por interferencias en la vía por maquinaria pesada, ya que esta presenta problemas de inestabilidad generando pérdidas de bancas y además de esto durante las mediciones se visualizó Fisuramiento longitudinal.

A partir de la fecha de mayo de 2017 se visualiza un mejoramiento de los valores promedio, como se evidencia en la Fig. 13, que en el mes de noviembre de 2016 con un valor de 4.812 m/km pasa a un valor de 3.228 m/km del mes de mayo de 2017 y desde ahí comienza nuevamente el deterioro en forma descendente. Este mejoramiento es debido a que el Concesionario ha realizado mantenimientos o intervenciones que consistía en sellos de fisuras, microfresados, fresado y parcheos. Estos resultados también se presentan en la Fig. 11, pero ya para la Fig. 12 al final de la medición no tiene un valor descendente de deterioro y es posible porque se le siguieron haciendo intervenciones por parte del Concesionario.

Para la calzada izquierda se analizó con los mismos criterios que la calzada derecha, presentando el mismo comportamiento del deterioro con respecto al tiempo, a continuación se ilustrara los tramos seleccionados de la calzada izquierda:

K23+000 - K24+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	3.306
oct-15	3.596
abr-16	3.804
nov-16	5.376
may-17	4.048
sep-17	3.046

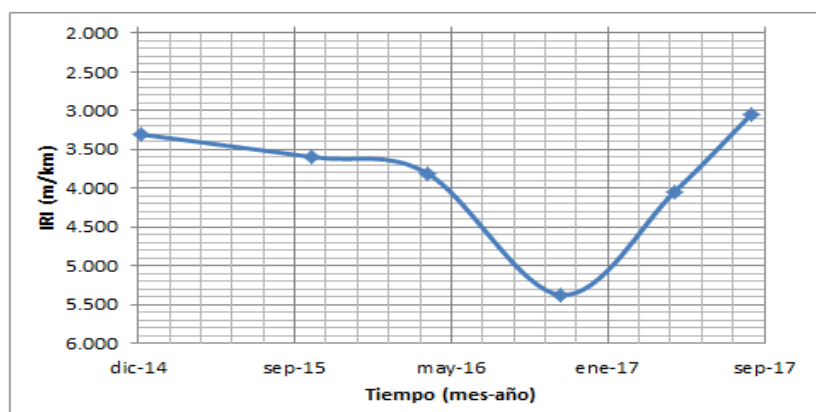


Fig. 14. Tramo K23+000/K24+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada izquierda.
Fuente: Elaboración propia.

K33+000 - K34+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	3.216
oct-15	3.520
abr-16	3.801
nov-16	6.246
may-17	3.328
sep-17	3.090

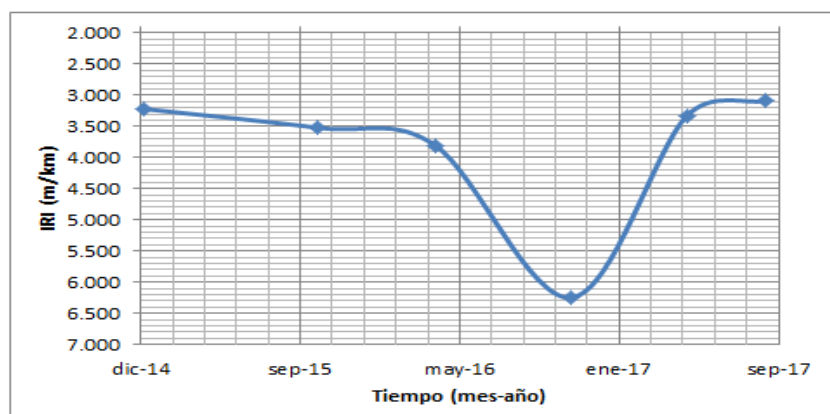


Fig. 15. Tramo K33+000/K34+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada izquierda.
Fuente: Elaboración propia.

K53+000 - K54+000	
Periodo	IRI (m/km)
ene-15	2.588
oct-15	3.334
abr-16	3.511
nov-16	5.197
may-17	2.648
sep-17	2.758

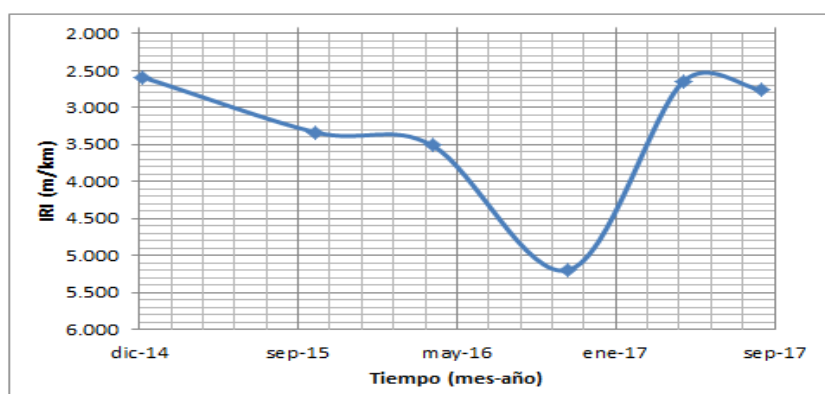


Fig. 15. Tramo K53+000/K54+000 IRI (m/km) con respecto al tiempo - mediciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 - calzada izquierda.
Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES.

A partir de los resultados obtenidos se concluye que:

- ✚ Las mediciones realizadas en la vía de estudio son referente a una evaluación funcional, el cual establece el estado actual de la superficie del pavimento, para esta investigación el coeficiente de textura y fricción cumplieron satisfactoriamente que van relacionado con la seguridad del usuario ante la vía a transitar, pero el Índice de Regularidad Internacional (IRI) no cumplió en su totalidad del perfil longitudinal, por lo tanto se puede concluir que el coeficiente IRI es de importancia ya que con ella se identifica la irregularidad superficial de la vía y va relacionado con el confort del usuario que transita en ella, por lo tanto es una medición más segura a la hora de entender que posiblemente haya un agrietamiento por fatiga, agrietamiento térmico y deformaciones en el pavimento que son factores que incrementan el valor del IRI.
- ✚ Con la evaluación funcional realizada en el Sector 1 de la Ruta del Sol, se determinó que el que tiene mejor comportamiento tanto a seguridad como comodidad del usuario es la calzada izquierda.
- ✚ Es importante concluir que la vía a presentado intervenciones con maquinaria pesada por perdidas de bancas, ya que esta pasa por zonas inestables o fallas geológicas y esto es de considerar por lo que tiene afectación en los valores obtenidos del coeficiente IRI.
- ✚ Durante el proceso de análisis estadístico se determinó que la selección de los tramos a estudiar, dependerían de solamente del coeficiente IRI ya que las otros dos ensayos de mediciones cumplieron según lo establecido por el Concesionario e INVIAS.
- ✚ La selección de los tramos de la vía que conecta los municipios Villeta – Puerto Salgar, fueron escogidos por la variación que hay entre las mediciones y los altos valores de IRI, ya que en esos sectores son los más afectados en la regularidad superficial del pavimento.
- ✚ Mediante las gráficas del coeficiente IRI con respecto al tiempo, se concluye que el deterioro no va en forma lineal, ya que los factores como el tránsito, clima, maquinaria pesada, etc., son los que determinan los valores de IRI.
- ✚ Que mediante la gráfica del coeficiente IRI con respecto al tiempo, se identifica cuando hacer el debido mantenimiento de la vía en estudio y por otra parte se observa cuando hay una intervención de mantenimiento, ya que mejora los valores de IRI.

REFERENCIAS

- [1] L.C. López Estrada, A. Mendoza Díaz, "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS", tesis inédita de maestría, Instituto Mexicano del Transporte Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Vías Terrestres de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Mexico, 1998.
- [2] F. Sanchez Sabogal, "MÓDULO 18 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS", Disponible en: http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%2018.pdf, consultado el día 14 de Octubre de 2017.
- [3] G.A. Badilla Vargas, "DETERMINACIÓN DE LA REGLARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL CÁLCULO DEL ÍNDICE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI): ASPECTOS Y CONSIDERACIONES IMPORTANTES". Disponible en: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/publicaciones/cila-05-09.pdf>, consultado el día 20 de Octubre de 2017.
- [4] H. Solminhact, T. Echaveguren, "ANTECEDENTES PARA LA INSPECCIÓN Y DISEÑO DE ESPECIFICACIONES DE TEXTURA, RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y FRICCIÓN EN PAVIMENTOS". Disponible en: https://es.slideshare.net/FALM1971/resistencia-al-deslizamiento?from_action=save, consultado el día 15 de Octubre de 2017.
- [5] M.C. Arriaga Patiño, P. Garnica Anguas, A. Rico Rodríguez, "ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO". Disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>, consultado el día 15 de Octubre de 2017.
- [6] G.A. Badilla Vargas, "DETERMINACIÓN DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL CÁLCULO DEL INDICE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI): ASPECTOS Y CONSIDERACIONES IMPORTANTES". Disponible en: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/publicaciones/cila-05-09.pdf>, consultado el día 16 de Octubre de 2017.
- [7] D. H. Calo, E. A. Marcolini, S. A. Fernandez, M. J. Camueira, E. A. Souza, "TEXTURIZADO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN VÍAS DE ALTAS VELOCIDADES", presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Córdoba, Argentina, Octubre, 2012.